

Lassi Piispanen

Langattomat järjestelmät kiinteistön ylläpidossa ja olosuhdehallinnassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

16.2.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Lassi Piispanen Langattomat järjestelmät kiinteistön ylläpidossa ja olosuhdehallinnassa 36 sivua 16.2.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	Johtava asiantuntija, Veijo Happonen Lehtori, Markku Inkinen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kiinteistöjen tiedonkeruuta ja kerätyn tiedon hyödyntämistä. Tässä opinnäytetyössä esiintyy suuressa osassa kiinteistöissä käytettävät langattomat järjestelmät, sekä niiden suunnitteluun liittyviä periaatteita.</p> <p>Työ laadittiin yhteistyössä suunnittelu- ja konsultointialan yrityksen Ramboll Finland Oy:n kanssa. Työssä käytettiin hyödyksi Severin ST-kortistoa, johon on koottu huomattava määrä tietoa eri standardeista liittyen rakennusautomaatioon ja rakennusautomaation langattomaan toteutukseen.</p> <p>Valmista työtä voidaan hyödyntää suunnittelun apuvälineenä suunniteltaessa kiinteistöautomaatiota langattomilla järjestelmillä. Työssä on esitettyä yleisimmät vaihtoehdot langattoman järjestelmän toteutukseen, langattomia järjestelmiä koskevia tietoturvaohjeita ja erilaisten langattomien verkkorakenteiden ja toiminnallisuutta.</p> <p>Tämän opinnäytetyön perusteella voidaan todeta langattoman kiinteistöautomaatiojärjestelmän suunnittelun olevan hieman perinteistä kiinteistöautomaatiota haastavampaa, sillä langatonta järjestelmää suunnitellessa tulee ottaa huomioon myös mahdolliset häiriötekijät ja langattomien laitteiden tietoturva.</p>	
Avainsanat	Rakennusautomaatio, langattomuus, tietoturva, pilvipalvelut

Author Title Number of Pages Date	Lassi Piispanen Wireless Systems in the Maintenance and Management of Building Automation 36 pages 16 February 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Technology
Instructors	Veijo Happonen, Leading Specialist Markku Inkinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this work was to study wireless systems, data collection and utilizing the collected data in building automation.</p> <p>This work studies how data can be collected from building automation and how it can be utilized in building automation. This study absorbs deeply into wireless automation of buildings and the principals of engineering a wireless system.</p> <p>This study was made together with design and consulting company Ramboll Finland Oy as a part of continuous development of engineering building automation. This thesis utilizes the Severi's ST-cards; these cards have been assembled with huge amount of knowledge from different standards of building automation and wireless systems.</p> <p>Based on this study can be stated that engineering a wireless system into a building is a lot more challenging than engineering an old-fashioned building automation system, since there is a lot more challenges brought to us by system security and possible distractions from other wireless systems.</p>	
Keywords	Building automation, wireless systems, cyber safety, cloud computing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kiinteistöjen ylläpidon tavoitteet	2
2.1	Olosuhdehallinta	2
2.2	Energiatehokkuus	3
2.3	Huolto- ja kunnossapitotoimintojen laatu	4
3	Huollon ja ylläpidon tekniset järjestelmät	5
3.1	Rakennusautomaatiojärjestelmät	5
3.2	Kunnossapitojärjestelmät	9
3.3	Tiedonkeruun hallinnan ohjelmistot	9
4	Tiedonkeruun toteutustavat	11
4.1	Langattomuus	12
4.1.1	ZigBee	12
4.1.2	WiMax	13
4.1.3	MiraOS	13
4.1.4	Verkkorakenteet	14
4.1.5	433 MHz:n taajuuskaista	16
4.1.6	868 MHz:n taajuuskaista	16
4.1.7	2.4GHz:n taajuuskaista	17
4.1.8	5GHz:n taajuuskaista	17
4.1.9	Langattoman verkon vaikeudet	18
4.2	Käyttäjäpalaute	19
4.3	Talotekniset järjestelmät	19
4.4	Tietoturva	21
4.4.1	Yksityinen virtuaaliverkko	23
4.4.2	Pilvipalvelut	25
5	Tiedon hyödyntäminen	26
5.1	Ramboll Circle	26
5.1.1	Kiinteistöhaku ja -laskenta	27

5.1.2	Elinkaaripalvelut	27
5.1.3	Rakennettu ympäristö	28
5.1.4	Mahdollisuudet	28
5.1.5	Liityntä	29
5.2	Kerätyn tiedon analysointi	30
6	Taloteknisten järjestelmien suunnittelun kehitystarpeet	31
	Lähteet	33

Lyhenteet

BIG DATA	Termi suuren datamäärän keruulle ja hallinnoimiselle
I/O	Input/Output, Tulo/Lähtö -kanava
IFC	Industry foundation classes, standardi oliopohjaiseen tiedonsiirtoon
IoT	Internet of Things, Älykkäiden laitteiden verkko
LTO	Lämmön talteenotto
LVIA-S	Lämpö, vesi, ilmanvaihto, automaatio ja sähkö
MQTT	Message queuing telemetry transport, tiedonsiirron standardi
OPC	Avoimen tiedonsiirron standardi
OSI	Open system interconnection, tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmämalli
RFID	Radio frequency identification, langaton tunnistustekniikka
TCP/IP	Verkkoprotokolla
WLAN	Langaton lähiverkko
VPN	Virtual private network, yksityinen virtuaaliverkko
XML	Extensible markup language, tiedonvälityksen formaatti

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin suunnittelu- ja konsultointiyritys Ramboll Finland Oy:lle ja sen tarkoituksena oli selvittää tulevaisuuden mahdollisuuksia rakennusautomaation suunnitteluun.

Ramboll Group on vuonna 1945 perustettu suunnittelu- ja konsultointitoimisto. Ramboll Group on säätiömisteinen. Säätiön tehtävänä on toimia Ramboll Groupin omistajana ja kehittää sen toimintaa. Säätiö tukee tutkimustyötä ja koulutusta erityisesti tieteen ja tekniikan aloilla. Yritys on johtava suunnittelu- ja konsultointitoimisto Pohjoismaissa, markkinajohtaja infran ja liikenteen suunnittelussa, sekä suomen johtava ympäristökonsultti. Muita tärkeitä Rambollin osaamisalueita ovat rakentaminen, energia, öljy ja kaasu, sekä johdon konsultointi.

Tämä selvitys tiedonkeruusta rakennuksissa alkoi osana yrityksen jatkuvaa kehitystä rakennusautomaation suunnitteluprosessissa. Rakennusautomaation suunnittelumallit kehittyvät jatkuvasti, mutta nykyisessä muodossaan suunnittelussa ei huomioida riittävästi jatkuvasti kasvavaa tarvetta datalle ja sen analysoinnille. Tämän työn tarkoituksena on kehittää rakennusautomaatiosuunnittelua sellaiseen suuntaan, että suunnitelmissa alettaisiin huomioidaan tehokkaammin Rambollin marraskuussa lanseeraamaa Ramboll Circle -palvelua.

Yksi opinnäytetyön painopisteistä on langattomat toimilaitteet, sillä langattomien toimilaitteiden jatkuvasti lisääntyessä rakennusautomaatiossa, pidettiin ajankohtaisena perehtymistä erilaisten langattomien verkkojen rakenteisiin, toimintaan ja tietoturvaan rakennusautomaatiossa.

Toinen tämän opinnäytetyön tärkeistä painopisteistä on rakennusautomaation tietoturva, sillä nykyisellään rakennusautomaation tietoturvaa ei ole juurikaan huomioitu suunnitteluvaiheessa, vaikka IoT ja muut suoraan internetiin kytkettävät laitteet yleistyvät rakennusautomaatiossa jatkuvasti kerättävän ja käsiteltävän tiedon lisääntyessä.

2 Kiinteistöjen ylläpidon tavoitteet

Kiinteistöjen ylläpidon keskeisimpinä tavoitteina on ylläpitää kiinteistön olosuhteita, säilyttää kiinteistön kunto, toimivuus, sekä teknisten järjestelmien tila sellaisina, kuin ne ovat kiinteistöä käyttöön ottaessa olleet. Energiankulutuksen seuranta, sekä huollon- ja kunnossapidon suunnittelu ja ohjaus auttavat näiden tavoitteiden saavuttamisessa. [1] Kiinteistöjen olosuhteet pyritään pitämään halutulla tasolla säännöllisellä kiinteistön huollolla ja teknisten järjestelmien ylläpidolla. Kiinteistön ylläpidon tulisi aina perustua riittäviin tietoihin kiinteistön käytöstä, tällä hetkellä ylläpidon työjärjestys on hieman nurinkurinen ja ylläpitoa aletaankin toteuttamaan suurimmaksi osaksi vasta kun ongelma on havaittu tai jokin kohde on rikkoontunut. Ylläpidossa hyödynnettävään dataan paneudutaan tarkemmin tämän opinnäytetyön myöhemmissä kappaleissa. [2.]

2.1 Olosuhdehallinta

Parhaimmillaan kiinteistö on paitsi energiatehokas myös olosuhteiltaan terveellinen, miellyttävä ja käyttäjien tarpeisiin mukautuva. Sisäolosuhdemittausten ja -seurannan avulla saadaan realistinen kuva kiinteistön olosuhteista. [3]

Sisäilman merkitys kiinteistön käyttäjien viihtyvyyden kannalta on valtava. Olosuhdehallinnan tavoitteena onkin luoda mahdollisimman raikasta ja puhdasta sisäilmaa. Hyvä sisäilma vaatii optimaalisen hiilidioksidipitoisuuden, hyvin hallitun ilmanlaadun ja miellyttävän lämpötilan. Miellyttävä sisäilma vaatii lisäksi sen, ettei kiinteistön käyttäjät tunne epämiellyttävää vetoa, vaan ilmanvaihto on jaettu kiinteistön tiloille sopivaksi. [4.]

Ympäristöministeriö on määrännyt ilmanlaadulle tiettyjä kriteereitä, joiden pitää toteutua kiinteistöissä. Esimerkiksi hiilidioksidipitoisuus ei saa ylittää 2 500 ppm, josta tulee enintään 1 500 ppm ihmisistä. Tavallisesti rakennusautomaatiossa käytetään säätöarvona 800 ppm. [5, s. 15.]

Rakennuksessa sijaitsevien antureiden, hyvin suunniteltujen ilmanvaihtokoneiden ja muun lämmitys- ja jäähdytys laitteiston avulla pyritään ylläpitämään laadukasta sisäilmaa vuodenajasta riippumatta. Antureiden avulla saadaan tehokkaasti kohdistettua ilmanvaihto sinne, missä sitä eniten tarvitaan, ja samalla saadaan vähennettyä

energiankulutusta siellä missä ilmanvaihtoa, jäähdytystä tai valaistusta ei hetkellisesti tarvita. Ilmanvaihdon ohjauksessa voidaan lisäksi hyödyntää läsnäolotunnistimia, tehostuskytkimiä tai erilaisia aikaohjelmia. [6.]

2.2 Energiatehokkuus

Energiatehokkuusvaatimusten jatkuva kiristyminen on rakennusten rakenteellisten ominaisuuksien lisäksi muuttanut merkittävästi myös LVIA-tekniikan suunnittelu- ja toteutusperiaatteita [7, s. 49]. Energiatehokkuudessa on kyse rakennusten kokonaisuuden hallinnasta. Perustana energiatehokkuudelle on lämpöhäviöiden pienentäminen ja tämän jälkeen energiankulutuksen tehostaminen. Tärkeää on hyödyntää ilmaisenergioita, näyttää ja ohjata energiankulutusta sekä tarkastella kulutetun energian tuotantomuotoa. Rakennusautomaation tärkein tehtävä on pitää rakennuksen sisäolosuhteet tarkoituksenmukaisina mahdollisimman pienellä energiankulutuksella. Sisäolosuhteilla tulee olla selkeät tavoitteet, eikä näitä tavoitteita saa alittaa energiansäästöä tavoitellessa. Energiatehokkuutta rakennuksessa automaation osalta voidaan parantaa kahdella eri tavalla: Tehokkaammilla laitevalinnoilla taiikka laitteiden energiatehokkaalla ohjauksella. Energiatehokkuustoimenpiteistä erityisesti järjestelmien automaattisella ohjauksella on suuri potentiaali. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla ja valaistuksella on saavutettu jo suuria säästöjä tiloissa, joiden käyttöasteet vaihtelevat huomattavasti. [8, s. 22-24.]

Kiinteistön kuluttavat noin 40 % kaikesta globaalisti kulutetusta energiasta, joten osuus kulutuksesta on merkittävä. Energiatehokkuutta voidaan parantaa jatkuvalla säätö- ja valvontajärjestelmien kehittämisellä. Suurimpia energiasäästöjä tavoitellessa tulisi valaistus ja ilmanvaihto optimoida mahdollisimman tarpeenmukaiseksi. Energiatehokkuutta parantamalla voitaisiin vähentää energiankulutusta jopa viidennes. [8, s. 7.]

Erityisesti liike- ja toimistorakennuksissa, sekä julkisissa rakennuksissa ilmanvaihto toimii keskeisessä roolissa energiankulutuksesta. Erityisesti lämmityskaudella lämmöntalteenottojärjestelmällä on suuri tehtävä energiankulutuksen pudottamisessa [7], LTO- järjestelmän tehtävänä on kerätä tiloista poistuvasta ilmasta mahdollisimman

paljon lämpöä talteen ja kierrätettäväksi takaisin sisätiloihin raittiin ilman mukana mahdollistaen pienemmän lämmitystarpeen ulkoa tulevalle kylmälle ilmalle. [9.]

2.3 Huolto- ja kunnossapitotoimintojen laatu

Järjestelmien täysi hyödyntäminen edellyttää järjestelmän toiminnan luotettavuutta. Vaikka järjestelmissä ei sinänsä ole erityisiä huollon kohtia, tietyn ennakoidun huollon toimenpitein käytettävyydestä ja järjestelmän luotettavuutta voidaan helposti nostaa. [10, s. 2.]

Tyypillinen vikaantuminen mekaanisissa komponenteissa on kulumisen aiheuttamaa ja elektroniikassa likaantumisen, ylijännitteen ja pölyntymisen aiheuttamaa ylikuumenemista. Myös elektroniikan liittimien ja joidenkin antureiden ja mittareiden toiminta kärsii tärinästä, likaumisesta ja kulumisesta. [10, s. 2.]

Tällaiset vikaantumiset vaikuttavat suoraan kiinteistöjen olosuhteisiin, esimerkiksi tukkeutunut suodatin kiinteistön tuloilmakoneella vähentää tiloihin tulevaa ilmaa, eivätkä kiinteistön tilat välttämättä saavuta sen vuoksi haluttuja olosuhteita lämpötilan tai hiilidioksidin pitoisuuden kannalta.

Etäkäyttö on tekninen ja hallinnollinen järjestely, jossa on liitetty verkkoyhteyksien avulla omaan laitteistoon tai palveluntarjoajan miehitettyyn valvontakeskukseen. Teknisen liitännän puitteissa valvontakeskus minimissään vastaanottaa kohteesta tulevat hälytykset ja järjestää jatkotoimenpiteet. [10, s. 9.]

Reagoimalla näihin hälytyksiin nopeasti tai jopa ennakoivasti voidaan välttää heikentyneet olosuhteet.

Rakennusten infonäyttöistä rakennuksen henkilöstö tai käyttäjät voivat saada informaatiota esimerkiksi rakennuksen olosuhteista, energiankulutuksesta ja talotekniikasta.

Järjestelmällisellä ennakoivalla huollolla ja säännöllisillä tarkastuksilla ylläpidetään järjestelmän käytettävyyttä ja rakennuksen käyttäjien, sekä huoltohenkilöstön tietoisuutta kiinteistön järjestelmien yleisestä kunnosta. [10, s. 3-4.]

Eri laitteistojen tarkastusten yhteydessä kannattaa yleensä tehdä ennakoivan huollon jaksotetut toimenpiteet. Mitä suuremman osuuden kiinteistön oma käyttöhenkilökunta voi tehtävistä tehdä omatoimisesti, sitä paremmin se oppii tuntemaan kiinteistön talo- ja tietotekniikan sekä havaitsemaan häiriöt ja huoltoa vaativat laitteet. Jos käytöstä ja ylläpidosta vastaavat vain ulkopuoliset, jää rakennuksen oman henkilökunnan kiinteistötekniikan tuntemus yleensä heikoksi. [10, s. 5.]

3 Huollon ja ylläpidon tekniset järjestelmät

3.1 Rakennusautomaatiojärjestelmät

Perinteisesti rakennusautomaatiolla tarkoitetaan erilaisia automaattisia säätö-, valvonta- ja ohjaustoimintoja, joiden avulla hallitaan kiinteistöjen LVIS-prosesseja. Rakennusautomaation tehtävänä on kiinteistöhoidon tavoitteiden mukaisesti huolehtia, että rakennus ja sen tekniset järjestelmät toimivat moitteettomasti, sisäolosuhteet ja energiankulutus pysyvät halutulla tasolla ja rutiinityöt vähentyvät. Kustannussäästöihin pyritäessä tavoiteltavia asioita ovat LVIS-laitteiden käytön hallinta, olosuhteiden ja energiankäytön hallinta sekä huolto- ja kunnossapitotoiminnan tehostaminen. [11, s. 154.]

ST-kortiston mukaan rakennusautomaatiojärjestelmän toiminnot voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan:

- Fyysiset perussäätö-, hälytys- ja aikaohjaustoiminnot
- Ohjelmalliset optimointi-, seuranta-, tilastointi- ja graafiset toiminnot.

Rakennusautomaatiossa fyysisellä toiminnolla tarkoitetaan sellaista toimintoa, jonka ohjaus tapahtuu valvonta alakeskuksella, esimerkiksi jonkin valaistusryhmän käynnistys tapahtuu fyysisellä toiminnolla.

Ohjelmallisella toiminnolla tarkoitetaan sellaista toimintoa, joka vaatii hieman laskentaa, kuten IV-koneen tuloilmapellin asennon ilmaisemisessa valvomografiikalla.

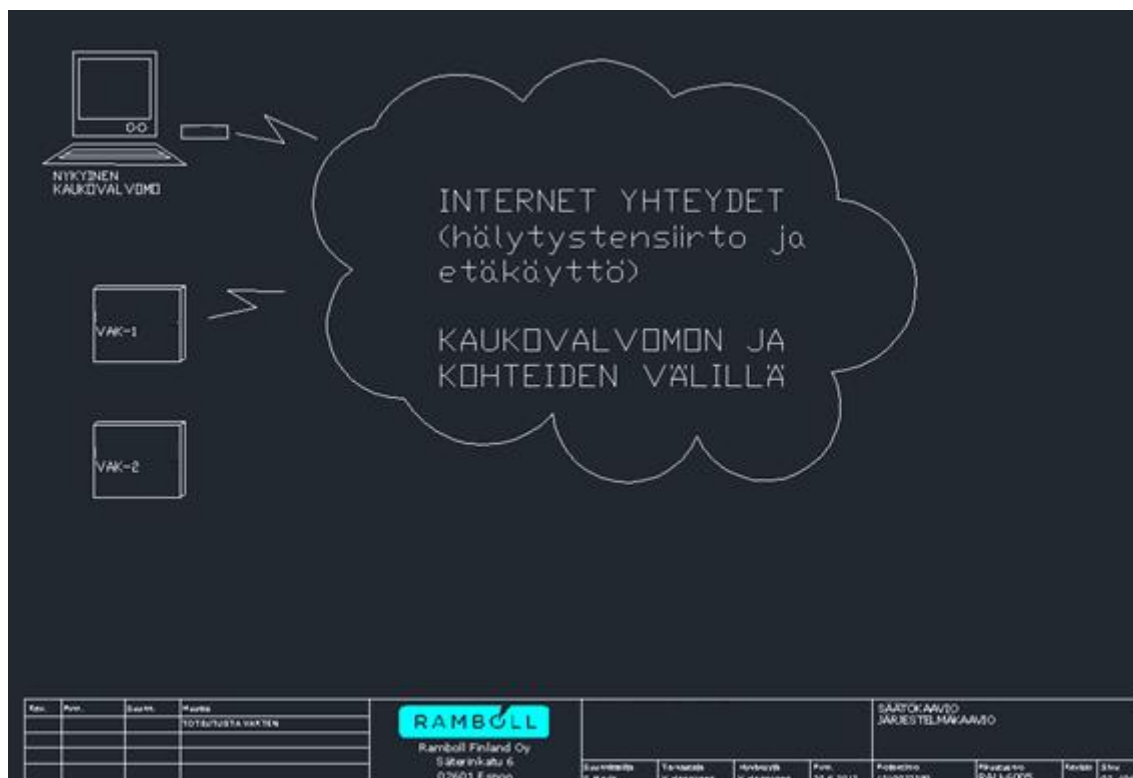
Rakennusautomaatiojärjestelmä on keskeinen työkalu olosuhteiden laatuun, käyttäjien tyytyväisyyden ja LVIS-järjestelmien seurantaan ja hallintaan. [6, s. 93]

Rakennusautomaatiolla on kolme eri tasoa, hallintotaso, automaatiotaso ja kenttätaso. [6, s. 93]

Hallintotason tehtävä on toimia järjestelmän ja käyttäjän välillä, välittäen käyttäjälle tietoa kiinteistön toiminnasta. Hallintotasoon kuuluvat kaikki kiinteistöön liittyvät valvomot, kuten paikallisvalvomo ja keskusvalvomo. Hallintotasolla voidaan tarkastella kiinteistön erilaisia hälytyksiä, katsoa graafisia prosessikuvia, sekä tehdä muutoksia esimerkiksi eri tilojen lämpötilojen asetusarvoille. [6, s. 93]

Yleisesti kaukovalvomossa on käytössä enemmän asiantuntemusta kiinteistöjen toiminnasta, kuin paikallisvalvomossa ja tätä asiantuntemusta voidaan hyödyntää huomattavasti kustannustehokkaammin sellaisessa valvomossa, jossa on useamman kiinteistön hallinto. [6, s. 93]

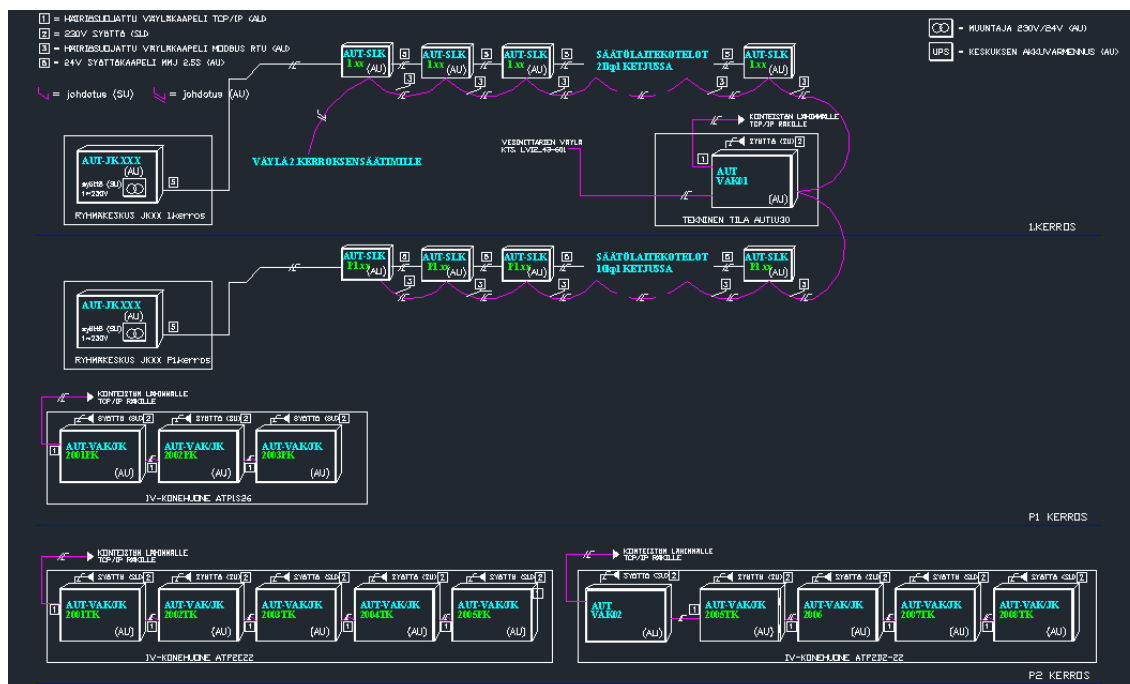
Hallintotason tehtävänä on usein myös raportoida tilannetta, sekä ylläpitää rakennusautomaation kuntoa. [6, s. 93]



Kuva 1. Kaukovalvomon liittäminen järjestelmään

Automaatiotasolla tarkoitetaan muun muassa kuvan 1 mukaisia itsenäisiä alakeskuksia, sekä niihin liittyviä I/O-moduuleita. Automaatiotasolla sisältyy rakennuksen automaation ohjaamiseen tarvittavat ohjelmat. Tällä tasolla kommunikointi on toteutettu yleensä LAN-verkossa käyttäen TCP-IP-protokollaa CAT 6 -standardin mukaisella kaapeloinnilla, tai vaihtoehtoisesti WLAN verkkoon liitettäviä langattomia antureita ja laitteita.

Alakeskusten välisessä verkossa hyödynnetään muiden alakeskusten välistä tiedonsiirtoa, kuten kuvassa 2 on esitetty. Esimerkiksi ulkolämpötilaa mitataan yleensä vain yhdellä anturilla, mutta tieto jaetaan kaikille alakeskuksille, sekä valvomoon. [6, s. 94-95]



Kuva 2. Automaatitason tiedonsiirto

Kenttätasolla tarkoitetaan rakennuksessa olevia antureita, sekä toimilaitteita. Anturit välittävät alakeskuksille reaaliaikaista tietoa rakennuksen prosesseista ja tilojen olosuhteista, kuten lämpötilasta ja kosteudesta. Alakeskus vertaa näitä antureiden lähettämiä tietoja siihen, mitä tietojen pitäisi olla, ja lähtee suorittamaan kenttätasolla erilaisia ohjauksia, jotta esimerkiksi sisäilman haluttu lämpötila ja laatu saavutetaan. [6, s. 95.]

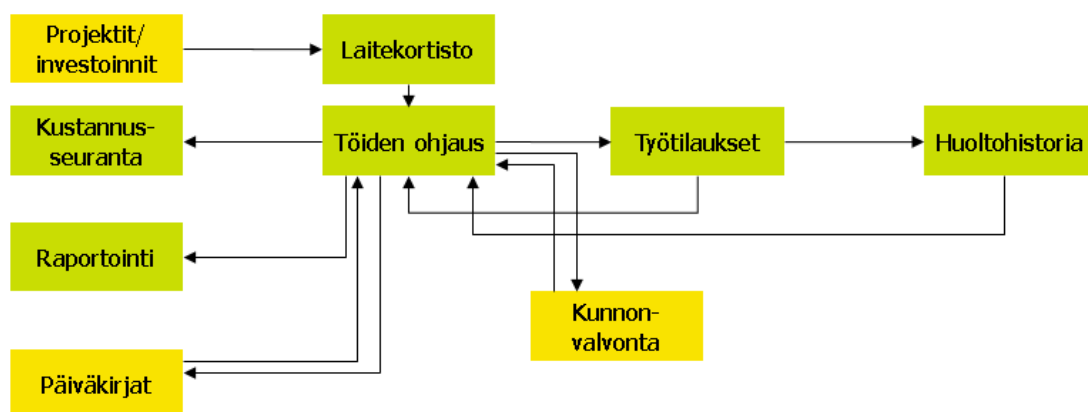
Kenttätasolla voi olla myös hajautettua I/O:ta, joka kommunikoi sarjaväylällä alakeskusten kanssa. Kenttätaso voi sisältää myös itsenäisiä säätimiä, kuten huonesäätimiä ja erilaisiin valmiisiin pakettiratkaisuihin integroituja säätimiä, joita esimerkiksi IV-koneet pitävät sisällään. [6, s. 95.]

Kommunikointi alakeskusten, hajautetun I/O:n ja säätimien välillä tapahtuu yleisesti kenttäväylän välityksellä. Näistä kenttäväylistä tunnetuimpia ovat ModBus, Lon, KNX ja uusimpana BACnet. [6, s. 95]

3.2 Kunnossapitojärjestelmät

Kunnossapitojärjestelmiä käytetään pääosin kiinteistöjen kunnossapito- ja huoltotöiden suunnittelussa, töiden suorituksessa, sekä kunnossapito- ja huoltotöiden valvonnassa.

Kunnossapitojärjestelmät ovat pääosin tarkoitettu rakennusten kunnossapidon toiminnanohjaukseen. Kunnossapitojärjestelmissä on myös keskeisessä osassa yhteydet muihin kiinteistöön liittyviin järjestelmiin, kuten kuvassa 3 on esitetty. Työntekijät ja järjestelmän käyttäjät ovat nykyisin tärkeässä asemassa kunnossapitojärjestelmän ylläpitämisessä, sillä he vastaavat suurelta osin uuden tiedon ja raporttien tuottamisesta. [12, s. 10-11.]



Kuva 3. Kunnossapitojärjestelmän toimintakaavio [13].

Toteutusvaihtoehtoja kunnossapidon tietojärjestelmille ovat valmispakettiohjelmistot, taikka tilaajalle erikseen räätälöity ohjelmisto, joka useimmiten toteutetaan valmispakettien pohjalta. [14 s. 17.]

3.3 Tiedonkeruun hallinnan ohjelmistot

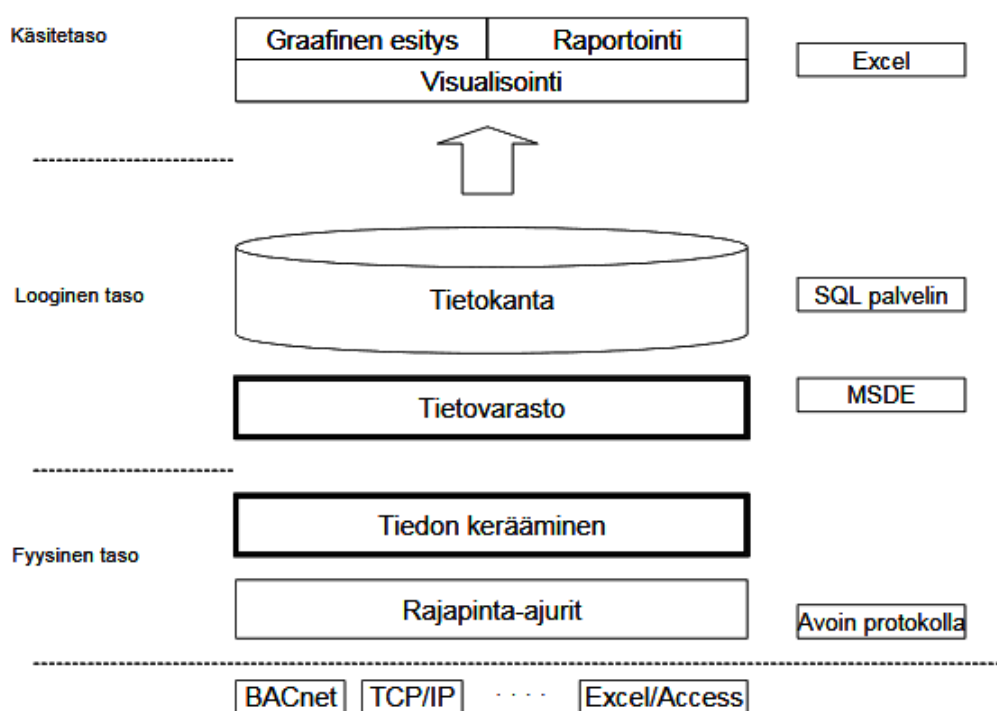
Tiedonkeruun hallinnan ohjelmistot koostuvat kolmesta eri tasosta. Nämä tasot ovat fyysinen taso, looginen taso, sekä käsitetaso. Tasojen hierarkia on esitetty kuvassa 4.

Fyysisellä tasolla on reaaliaikainen data, jota siirretään jatkuvasti ylemmälle tasolle, fyysiseltä tasolta loogiselle tasolle siirtyy ainoastaan käsittelemätön data, kuten antureiden mittausarvot ja IV-koneiden tilatiedot.

Loogisella tasolla ylläpidetään dataa, jossa on tietokannassa yksinkertaisimmillaan kellonaika ja lämpötila. Kun näitä lämpötiloja on kerätty talteen useampia, voidaan puhua tietokannasta. Toki yksittäisen anturin lämpötilan seuraaminen on helpohkoa ilmankin graafista esitystä, antureiden ja muiden laitteiden lisääntyessä samaan tietokantaan tulkinta alkaa menemään hankalaksi, jolloin tarvitaan käsitetasolla tehtäviä asioita.

Käsitetasolla hyödynnetään loogisella tasolla olevia tietoja siten, että tietokannasta kerätään oleellisia tietoja. Tietokannasta haettua dataa voidaan hyödyntää käsitetasolla tekemällä erilaisia graafeja ja raportteja. Tietokanta sisältää yleensä käsittelemätöntä raakadataa, jota on vaikea tulkita ilman visuaalista esitystapaa. Lisäksi käsitetasolla voidaan luoda loogiselle tasolle tietoja takaisin, kuten merkintöjä tietokantaan eri huolto- ja korjaustoimenpiteistä, tai IV-koneen ohjauksia. [15, s. 93-94.]

Kun tietoa on kerätty talteen ja käsitelty helposti luettavaan ja tulkittavaan muotoon, voidaan tarkastella kiinteistön tarpeita. Esimerkiksi hellekaudella voidaan havaita ulkolämpötilan olleen korkea, jolloin rakennusta voidaan jäähdyttää yöaikana hieman viileämmällä ulkoilmalla. [15, s. 89.]

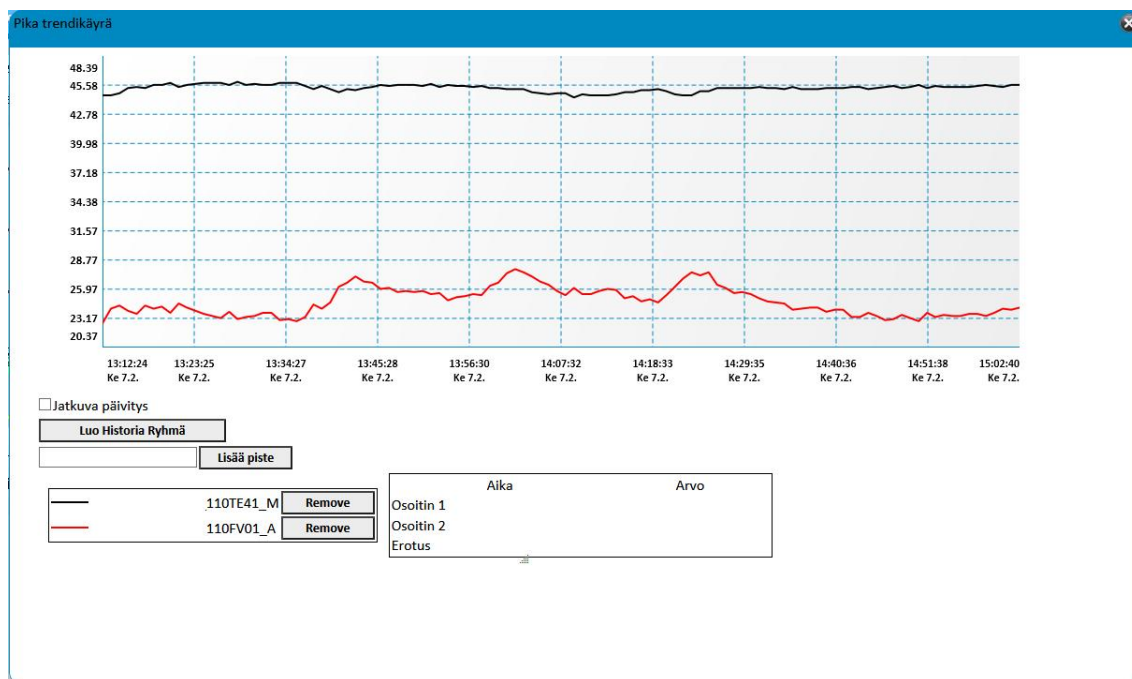


Kuva 4. Rakennusautomaatiojärjestelmän tietokannan kolme kerrosta [11, s. 155].

4 Tiedonkeruun toteutustavat

Jatkuva tiedonkeruu on keskeinen osa kiinteistön olosuhteiden ja teknisen tilan ylläpidossa, rakennuksesta saatavaa dataa tiivistetään hyödynnettävään muotoon, jonka jälkeen kerättyä dataa on helpompi analysoida. Tiedonkeruussa tulee myös huomioida rakennuksen käyttäjiltä ja huoltohenkilöstöltä saatava laadullinen palaute. [16.]

Seuranta ja seurannan rinnalla syntyvä raportointi on hyvä tapa tarkkailla kiinteistön ja kiinteistön teknisten järjestelmien ja prosessien toimintaa. Kiinteistöjen tehokkaaseen seurantaan käytetään pääsääntöisesti erilaisia trendejä, graafeja ja histogrammeja, kuten kuvassa 5, joista voidaan tarkastella prosessien toimintaa lyhyellä tai pitkällä aikavälillä. [15, s. 44-45.]



Kuva 5. Lämmitysverkoston lämpötila ja säätöventtiilin asento

4.1 Langattomuus

Olipa kyseessä jälkiasennus tai uuden rakentaminen, langattomilla yhteyksillä voidaan säästää kaapeloinnissa. Samalla on mahdollista parantaa järjestelmän suorituskykyä, kun yhdistetään samaan langattomaan runkoverkkoon useita järjestelmiä.

Rakennusautomaatiossa käytettävää langatonta tekniikkaa ei pidä sekoittaa RFID-, eikä suoranaisesti myöskään WLAN-tekniikkaan. Rakennusautomaation osalta langattomia järjestelmiä käytetään siirtämään vain rakennusautomaation tarvitsemaa dataa, jonka osalta vaatimukset eivät ole WLAN-tekniikan tasolla. Siirrettävä data on vähäisempää, eikä järjestelmät ole myöskään yhtä vaativia tiedonsiirron viiveen kannalta. [17, s. 1.]

4.1.1 ZigBee

Automaatiikan langattomien verkkojen rakenteille on useampia erilaisia vaihtoehtoja, joilla on omat standardinsa. Yksi käytetyistä standardeista on IEEE 802.15.4 standardin mukaan rakennettava ZigBee verkko. Verkottuneiden laitteiden tyypillinen kantama on kilometrin [18, s. 15.]

4.1.2 WiMax

Toinen varteenotettava vaihtoehto on WiMax, joka perustuu standardiin IEEE802.16, verkko muistuttaa enemmän perinteistä WLAN-verkkoa, mutta WiMax on huomattavasti laajempi. Tämä verkko kuitenkin poikkeaa taajuudeltaan muista verkoista ja toimii Euroopassa 3.5 GHz:n taajuudella. [18, s. 15]

4.1.3 MiraOS

Näiden vaihtoehtojen lisäksi käytössä on myös Lumenradion luoma MiraOS, jota esimerkiksi hyödynnetään Produal Oy:n langattomissa rakennusautomaation tuotteissa. Järjestelmä on rakennettu pohjautuen useisiin eri tiedonsiirron standardeihin. MiraOS käyttää hyödyksi kuvan 6 mukista OSI-mallia, joka on eroteltu seitsemään tiedonsiirron kerrokseen. Tyypillinen kantama verkottuneille laitteille on kilometrin. [19.]

Layer	Name	Role	Example protocols
7	Application	Type of communication.	HTTP, FTP, SMTP
6	Presentation	Encryption, Conversion	SSL, TLS, ASCII, AFP, NCP
5	Session	Start and stops a session, maintains order	AppleTalk, L2TP, NetBIOS
4	Transport	Ensures delivery of entire file or message	TCP, UDP
3	Network	Routes data to destination	IP, ICMP, ISDN/Q931
2	Data Link	Transmits package from node to node	Ethernet, PPP, ATM
1	Physical	Electrical signaling, wired or wireless	USB, RS-485, IEEE802.11, IEEE802.15.4

Kuva 6. OSI-mallin seitsemän kerrosta ja esimerkki niiden toiminnasta [19].

Kun vertaillaan ZigBeen ja MiraOS:n toimintaa, voidaan huomata järjestelmissä selviä eroja. ZigBee mahdollistaa verkkoyhteyden sadalle laitteelle, kun Mira puolestaan

kykenee yli 5 000 laitteen verkkoihin. Joistakin kilpailijoistaan poiketen, MiraOS:ssa on valmius siirtyä käyttämään IPV6-protokollan mukaista tiedonsiirtoa. [20.]

Tavallisesti IoT-laitteet pyrkivät vaihtamaan verkon ruuhkautuessa kanavalta toiselle, laitteita ei ole kuitenkaan tarkoitettu jatkuvaan kanavarumbaun, joka saattaa pysäyttää tietoliikenteen pitkäksi ajaksi. Tämän vuoksi MiraOS:n tekijät ovat kehittäneet myös uuden teknologian ruuhkaisten verkkokaistojen välttämiseksi. Tämä teknologia perustuu kolmeen eri vaiheeseen [21]:

- Ensimmäisessä vaiheessa MiraOS havaitsee verkon häiriöitä.
- Toisessa vaiheessa järjestelmä tunnistaa muut verkossa toimivat laitteet, sekä näiden käyttämät kanavat.
- Kolmas vaihe on sopeutumista varten. MiraOS kykenee sopeutumaan muun muassa sellaisiin lähetysaikoihin, jolloin kaistalla ei ole paljon muuta ruuhkaa.

4.1.4 Verkkorakenteet

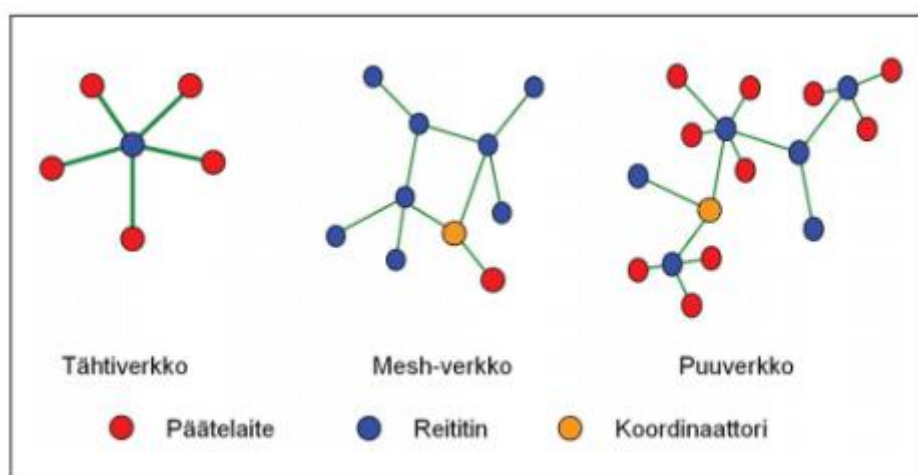
Yleisimmät käytössä olevat verkkorakenteet langattomille toimilaitteille ovat tähtiverkko, Mesh-verkko ja puuverkko, nämä verkot ovat esitetty kuvassa 7. Langattomia toimilaitteita on kolmea eri tyyppiä: koordinaattori, reititin ja päätelaite. Täytyy kuitenkin pitää mielessä, että kaikista eri verkkorakenteista on olemassa ääretön määrä eri variaatioita. [17, s. 6.]

Tähtiverkossa on tavallisesti reititin, joka lähettää ja vastaanottaa tietoa suoraan päätelaitteilta, päätelaitteet eivät kommunikoi keskenään ja kaikki tieto kulkee aina reitittimen kautta. Tässä verkkomallissa reititin toimii yleensä myös verkon koordinaattorina. [22.]

Mesh-verkossa toimivat päätelaitteet toimivat usein myös reitittiminä, mahdollistaen laitteiden välisen tiedonsiirron. Mesh-verkkorakenne vaatii myös koordinaattorin, jonka tehtävänä on kertoa reitittimille, minkä laitteiden välillä tietoa siirretään ja minne siirretyn tiedon on lopulta päädyttävä. Mesh-verkossa kaikki laitteet voivat tavallisesti olla yhteydessä toisiinsa, tilanteen ollessa sellainen, että suoraa reittiä haluttujen laitteiden

väillä ei kuitenkaan ole, osaa tämä verkko hakea vaihtoehtoisen reitin määränpään saavuttamiseksi [22]. Tätä verkkomallia hyödynnetään rakennusautomaatiossa sen varman yhteyden vuoksi. yhden lähettimen hajotessa tietoa lähettävät anturit etsivät verkosta uuden reitin määränpään saavuttamiseksi. Mesh-verkkoa käytetään hyödyksi myös huonelaitteiden parametroidinnissa, parametroidessa ei tarvitse saada yhteys, kuin yhteen verkon laitteeseen ja Mesh-verkon välityksellä voidaan parametroida myös muut yhteydessä olevat laitteet. [23.]

Puuverkko koostuu useammasta tähtiverkon tyyppisestä verkkorakenteesta. Reitittimeen kytketään haluttu määrä päätelaitteita, jonka jälkeen reitittimet kytketään toisiinsa pääsääntöisesti sarjassa. Tämäkin verkkorakenne vaatii verkkoon koordinaattorilaitteen kertomaan verkossa oleville reitittimille, minkä laitteiden kanssa kyseisen reitittimen tulee keskustella. [17, s. 6.]



Kuva 7. Verkkojen rakenteet [17].

Lyhyen kantaman radiolähettimille, joita rakennusautomaatiossa käytetään, on varattu joukko lisenssivapaita taajuusalueita. Euroopassa yleisesti käytetään kolmea luvasta vapautettua taajuusaluetta: 433 MHz, 868 MHz, 2,4 GHz ja rajoitetusti 5 GHz. [24.]

Lähetystaajuus vaikuttaa suoraan lähetettävän tiedon aallonpituuteen, pidemmillä aalloilla saadaan kasvatettua lähettimen kantamaa, sillä seurauksella, että lähetettävän tiedon määrä vähenee. Saman lähetystehon omaavista laitteista, puolet pienempää taajuutta käyttävä laite kantaa lähes kaksi kertaa pidemmälle.

4.1.5 433 MHz:n taajuuskaista

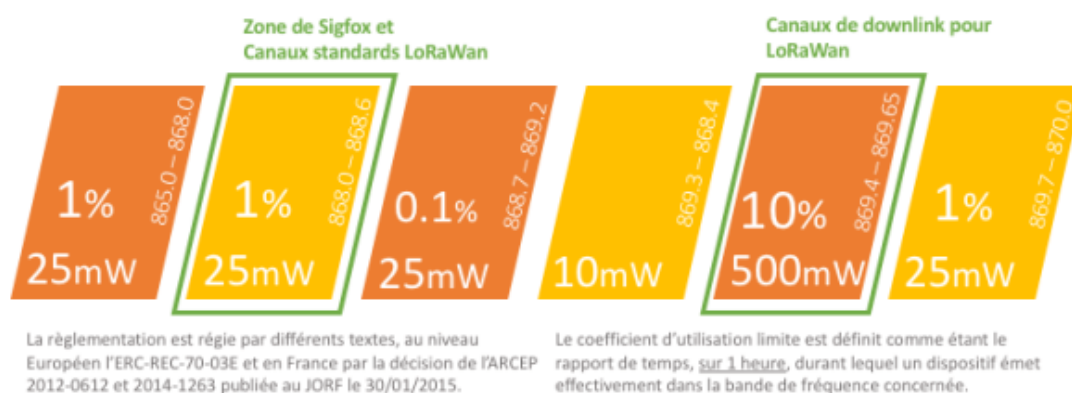
Taajuusalue on tarkoitettu pienitehoisille laitteille, joiden suurin mahdollinen lähetysteho on 10 mW. Tämä taajuusalue pitää sisällään 69 kanavaa, kanavat tällä taajuusalueella ovat 25 kHz leveitä kaistoja. Taajuusalueen kantama on alle kilometrin. Tämä taajuusalue on rakennusautomaatiossa harvoin käytetty, sillä vapaat kanavat täyttyvät nykyaikaisessa rakennuksessa todella nopeasti. [25.]

4.1.6 868 MHz:n taajuuskaista

Taajuusalue 868 MHz on erityisesti varattu langattomien antureiden väliseen tiedonsiirtoon, näillä laitteilla tehtävissä rakennusautomaation hankkeissa tulee ottaa huomioon eri taajuusalueiden omat säädäntönsä. Lähetysteho kyseisellä taajuusalueella vaihtelee kanavasta riippuen 10 mW ja 500 mW, sekä lähetysaikojen välillä. [25.]

Législation Française (et Européenne) sur la bande dite des 868MHz

865Mhz-870 Hz



Kuva 8. 868 MHz taajuusalueen kanavat [25].

Tällä taajuusalueella toimivat myös IoT-verkkoon liitettävät laitteet verkon pitkän kantaman ja hyvän rakenteiden läpäisykyvyn vuoksi. IoT-laitteiden kaksi yleisimmin käytettyä verkkoa näkyvät yllä olevassa kuvassa 8, Sigfox ja LoRaWAN. Esimerkiksi sellaista lähetintä, jonka tarvitsee lähettää tietoa vain esimerkiksi kerran päivässä,

voitaisiin käyttää kanavaa kolme, jonka taajuusalue on 868.7-869.2 Mhz, paristokäyttöinenkin lähetin voisi toimia jopa vuosia. [26, s. 10-14.]

4.1.7 2,4GHz:n taajuuskaista

Rakennusautomaatiossa vähemmän käytetty 2,4 GHz:n taajuusalue pitää sisällään vain kolme eri kanavaa, tarkoittaen sitä, että käytettäessä yli kolmea tukiasemaa samassa tilassa tulee päällekkäisyyksiä, jotka saattavat aiheuttaa häiriöitä verkkoon. Kanavien kapeuden ja yleisesti erittäin yleisen käytön vuoksi tämä taajuusalue saattaa täyttyä ja verkon häiriöt yleistyä huomattavasti. [27.] Langattomassa rakennusautomaation verkossa kanavia on kuitenkin 16 [19].

Kyseisellä taajuuskaistalla toimivat myös pienitehoiset Bluetooth-laitteet, joilla on lyhyt kantama. Bluetoothin tuomia ominaisuuksia hyödynnetään rakennusautomaatiossa esimerkiksi langattomien antureiden parametroidinnissa lähietäisyydeltä. [28] Yleisesti käytössä olevan Mesh-rakenteen vuoksi parametointi voidaan suorittaa joissakin tapauksissa yhden huonelaitteen läheisyydestä myös kauempana oleville huonelaitteille, jotka ovat yhteydessä samaan verkkoon. [23] Produal Oy käyttääkin 2.4GHz:n laitteita siten, ettei erillistä bluetooth-yksikköä tarvita, vaan samalla lähetin sirulla voidaan tarvittaessa parametroida laitetta bluetoothin välityksellä. [23.]

Rakennusautomaatiossa käytettävää 2,4 GHz yhteyttä ei pidä kuitenkaan sekoittaa yleisemmin käytössä olevaan Wi-Fi-verkkoon, sillä rakennusautomaatio ei ole vaatimuksiltaan samalla tasolla. Verkon kevyempien vaatimusten vuoksi myös tällä taajuusalueella voidaan rakennusautomaatiossa käyttää täysin langattomia lähettämiä, joiden paristot kestävät parhaimmillaan kymmenen vuotta. [23.]

4.1.8 5GHz:n taajuuskaista

Harvinaisemmassa 5 GHz:n verkossa on 19 kanavaa, jolloin järjestelmän täyttymiseen tarvitsee huomattavasti enemmän laitteita. Tässä verkossa on kuitenkin omat haasteensa, sillä kyseistä taajuusaluetta saa käyttää vain rajoitetusti, koska huomattavasti korkeamman lähetystehon laitteet saattavat vaikuttaa muuhun radioliikenteeseen. Tällä taajuusalueella on myös lyhyempi toimintasäde, kuin 2,4 GHz:n langattomalla verkolla, jonka vuoksi tämä taajuuskaista on myös vähemmän käytetty.

Rakennusautomaation kannalta 5GHz:n järjestelmä olisi puhdas ylilyönti esimerkiksi langattoman lämpötila-anturin kohdalla, sillä tällä taajuudella pystytään siirtämään tietoa jopa 1300Mbps, lähetysnopeuden ja -tehon kasvaessa kasvaa myös laitteen kuluttama sähköteho. [29]

4.1.9 Langattoman verkon vaikeudet

Langaton verkko tuo mukanaan useita haasteita, jotka on ratkaistava toteutuksen yhteydessä. Näistä yhtenä ongelmana on esimerkiksi langattoman verkon kuuluvuus päätelaitteelle. [17, s. 7]

Muita langattomalle verkolle muodostuvia ongelmia saattavat olla muut samalla taajuusalueella toimivat langattomat verkot, sekä muut laitteet jotka toimivat tällä taajuusalueella, kuten nykyaikaisten autojen avaimet ja mikrot. Riippuen häiritsevän verkon- tai laitteen toimintataajuudesta, lähetystehosta ja laitteiden etäisyydestä. [17, s. 7.]

Monitiehäiriö voi tulevaisuudessa aiheuttaa rakennusautomaatiossa ongelmia, sillä signaalia heijastavia pintoja löytyy useampia. Monitiehäiriö aiheutuu usein huonosti suunnatusta lähettimestä, jolloin signaali heijastuu useiden pintojen kautta ennen vastaanottimelle saapumista. Monitiehäiriön vaikutuksena signaalin taajuus vaihtelee sijainnista riippuen, aiheuttaen hidasta tai nopeaa häipymää. Häiriöllä tarkoitetaan sitä, että vastaanotin saa saman signaalin useamman kerran eri aikaan, signaalien saapumisella vastaanottimelle suuremmalla tai pienemmällä vaihe-erolla on vaikutusta signaalin amplitudiin. [30]

Vaimeneminen tulee myös ottaa huomioon langatonta rakennusautomaatiota suunnitellessa. Signaali vaimenee joka kerta, kun se osuu johonkin esteeseen. Voi siis olla mahdollista, ettei signaali pääse koskaan vastaanottimelle asti. Jos huomataan signaalin heikentyvän liikaa ennen vastaanottimelle saapumista, voidaan helposti lisätä matkan varrelle toistimia, jotka vahvistavat lähetetyn tiedon takaisin alkuperäiselle voimakkuudelle. [30]

Tietoturvan huomioon ottaminen on tärkeää langattomissa järjestelmissä. Ulkopuolisten on helpompi päästä käsiksi langattomaan viestiliikenteeseen kuin perinteiseen, johtoa

pitkin kulkevaan. Viestien salaus ja suojaus sekä viestittäjien tunnistaminen onkin siis olennaista varmistaa. Rakennusautomaation tietoturvaan perehdytään lisää luvussa 4.4.

Lisäksi haasteina tulee tulevaisuudessa olemaan suunnittelu sellaisille järjestelmille, joista saadaan tietoa pilvipalveluiden ja historiakantojen liitynnöille rakennusautomaatiojärjestelmältä lähes reaaliajassa.

4.2 Käyttäjäpalaute

Käyttäjäpalautteen kerääminen kiinteistöistä on lähtenyt kasvamaan tietojärjestelmien kehittymisen myötä. Esimerkiksi Tiedolla on Empathic Building -järjestelmä joka suorittaa kiinteistössä useita eri mittauksia, kuten ilmanlaatua tai melutasoa. [31.]

Tieto kerää käyttäjiltä myös laadullista palautetta, josta tietokoneohjelma tunnistaa avainsanoja ja yhdistää samankaltaiset palautteet. Palautetta tullessa samasta aiheesta riittävästi, asiaan voidaan vaikuttaa muun muassa tehokkaalla kunnossapidon kohdistamisella. Palaute annetaan Tiedolla pääsääntöisesti sijaintiin perustuen, joka helpottaakin kunnossapito- tai muiden toimijoiden reagointia palautteeseen. [31.]

Määrällistä palautetta voidaan tulevaisuudessa kerätä ohjelmallisesti muun muassa huonesäätimiltä, huonesäätimiltä voidaan kerätä dataa esimerkiksi siitä, kuinka usein lämpötilaa säädetään ja millä asetuksella säädin on suurimman osan ajasta. Kerättyä dataa voidaan tarkastella laskennallisesti, antaen mahdollisuuden säätää ilmanvaihtokoneita, tai huonetehostuksia optimaalisemmalle asetukselle.

Esimerkiksi toimistorakennuksessa, jossa on samassa kerroksessa useampi neuvottelutila, joissa jokaisella on myös oma huonesäädin, ovat kaikki käännettynä kylmimmälle asetukselle, voitaisiin alkaa tekemään jatkoselvitystä siitä, onko tiloissa liian lämmin vai liian korkea hiilidioksidi- tai kosteuspitoisuus.

4.3 Talotekniset järjestelmät

Taloteknisillä järjestelmillä tarkoitetaan kiinteistöön liittyvien teknisten järjestelmien ja laitteiden luomaa kokonaisuutta. Suurin osuus talotekniikasta koostuu LVI-järjestelmistä,

joilla hallitaan ilmanvaihtoa, lämmitystä ja jäähdytystä. Talotekniikan keinoilla pyritään luomaan kiinteistöihin terveelliset sisäolosuhteet hallitusti. Ilmanvaihdolla on oleellinen merkitys tavoitellessa hyvää sisäilmaa. [32].

Taloteknisten järjestelmien tehtävänä on ylläpitää rakennusten olosuhteet halutulla tasolla, mahdollisimman energiatehokkaasti. Energiatehokkuutta tavoitellessa järjestelmät eivät saa kuitenkaan toimia siten, että ne alittaisivat kiinteistölle asetettuja tavoitteita olosuhteiden kannalta.

Talotekniset järjestelmät ovat keskeisessä roolissa tiedonkeruussa, kaikki rakennusautomaatioon liittyvä tieto liikkuu jatkuvasti rakennusten valvonta-alakeskuksilla, joista kaikki data lähetetään edelleen rakennuksen valvomolle. Kaikki kiinteistön olosuhteisiin, viihtyvyyteen ja energiatehokkuuteen oleva data on jo olemassa, olisi mahdollista siirtää kerätty data tietokantaan. Datan keruu tietokantaan on mahdollista toteuttaa reaaliajassa siten, että tietokannasta voitaisiin nostaa rakennusautomaation tiettyjä tapahtumia ja tilojen olosuhdemuutoksia esille. Nykyisellään taloteknisten järjestelmien tietoja taltioidaan pääsääntöisesti paikallisesti kiinteistön valvomolle, eivätkä asiantuntijat pääse niin helposti seuraamaan järjestelmiä.

Keskeinen tunnusluku rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnissa on sen absoluuttinen vuosikulutus. Tämä koskee sekä lämmönkulutusta että sähkön ja veden kulutusta. Kytkemällä näitä mittauksia järjestelmään, voidaan näistä mittauksista tulostaa raportointiohjelmalla monipuolisia kaavioita, joita tarkastelemalla voidaan havaita energiankulutuksen kannalta ongelmakohtia. [7, s. 51-52.]

Prosessien toiminnan vanhempien ja reaaliaikaisten mittaustulosten perusteella voidaan tarkastella koneiden toimintaa tietyllä aikavälillä ja havaita esimerkiksi jonkin tietyn poikkeaman taajuutta. Saman poikkeaman toistuessa useasti, voidaan kohdistaa kunnossapitoa huomattavasti tehokkaammin sellaisiin asioihin, jotka sitä useimmin kaipaavat. [7, s. 51-52.]

Taloteknisten järjestelmien tiedonkeruun ja paremman taltioimisen myötä voidaan vaikuttaa huomattavasti tehokkaammin tilojen viihtyvyyteen ja energiatehokkuuteen siten, että laitteisto tekisi jatkuvaa analyysia ilmanlaadusta ja tehostaisi toimintaansa esimerkiksi ruuhka aikoina. Esimerkiksi neuvottelutila, joka on toimistolla käytössä

päivittäin vain muutaman tunnin lounasajan jälkeen, voisi ilmanvaihtoa kohdistaa tehokkaasti kyseiseen tilaan vasta kun tilaa käytetään, ennen pitoisuusarvojen tai lämpötilan nousua liian korkeiksi.

Liittymät rakennusautomaation ja pilvipalveluiden välillä vaativat yleensä historiatietokannan, johon siirretään dataa rakennusautomaation fyysisiltä pisteiltä lähes reaaliajassa. Teknisiä liittymäratkaisuja ovat esimerkiksi MQTT- ja OPC-rajapinnat, sekä kyseiselle palvelulle sopivat tiedostomuodot, kuten ".xml". Joissain tapauksissa tekninen liityntä ulkoisiin palveluihin joudutaan toteuttamaan gateway-laitteella, joka tukee rakennusautomaation käyttämää tiedonsiirtoprotokollaa, muuttaen rakennusautomaatiosta tulevan tiedon helposti siirrettävään muotoon. [33.]

4.4 Tietoturva

Verkkoon kytkettyjen automaatiojärjestelmien tietoturva on herättänyt viime aikoina runsaasti keskustelua kiinteistöautomaatiojärjestelmiin kohdistuneiden hyökkäysten myötä. Vaikka todellisia ongelmia on jo nähty, ovat Suomessa tähän saakka koetut asiat olleet vielä suhteellisen harmittomia pahimpiin skenaarioihin verrattuna. [34] Esimerkiksi toukokuussa 2016 suomalaisten jäähallien talotekniset järjestelmät lähettelivät maksullisiin palveluihin tekstiviestejä 10 000 euron arvosta [35].

Tietoturvan tason valintaa ohjataan riskianalyysillä, kuten missä tahansa muussakin turvallisuuteen liittyvässä asiassa. Riskianalyysissä tarkastellaan todennäköisyyttä riskin toteutumiselle, sekä toteutuneen riskin vaikutuksia. Analyysi voidaan tehdä esimerkiksi kuvan 9 mukaisella matriisilla. Rakennusautomaatiojärjestelmän riskianalyysi onkin yleensä suositeltavaa liittää osaksi kokonaisuuden muuta riskianalyysia. [36, s. 4.]

Riskin todennäköisyys	Riskin vaikutukset toteutuessaan		
	Vähäinen (1)	Merkittävä (2)	Vakava (3)
	Alhainen (1)	Merkityksetön (1)	Vähäinen (2)
	Keskitasoinen(2)	Kohtalainen (4)	Merkittävä (6)
	Korkea (3)	Kohtalainen (3)	Sietämätön (9)

Kuva 9. Riskinarviointimatriisi [36, s. 4].

Riskiarviota tehtäessä rakennusautomaatiojärjestelmälle olisi syytä huomioida ainakin seuraavat riskit:

- automaatiolaitteiden laiterikot
- valvomotietokoneen laiterikko
- tahallinen järjestelmään kohdistunut sabotaasi tietoverkon avulla
- luvaton järjestelmään tunkeutuminen tietoverkon avulla
- haitta- tai kiristysohjelmien leviäminen laitteisiin tai työasemiin
- järjestelmään tallennetun tiedon pääseminen väärin käsiin
- etäyhteyksien väärinkäyttö
- rakennusautomaatiolaitteen käyttö yhdyskäytävänä rakennuksen muihin järjestelmiin ja verkkoihin
- rakennusautomaatiolaitteen resurssien hyödyntäminen hyökkäyksissä kolmatta osapuolta kohtaan
- sähkönsyötön katkeaminen.

Suurimpiin rakennusautomaatiojärjestelmän riskeihin kuuluu suora ja rajaamaton pääsy internetistä rakennusautomaation laitteisiin. Järjestelmät on harvoin tarkoitettu kytkettäväksi suoraan internetiin, sillä suoralla yhteydellä toteutetussa järjestelmässä on heikko pääsynhallinta, eikä luvatonta tunkeutumista järjestelmään voida havaita. Lisäksi järjestelmä voi jumiutua liiallisen tietoliikennevirran vuoksi. Tänäkin päivänä useisiin rakennusautomaation järjestelmiin tunkeutuminen ja tietojen manipulointi on helppoa vähäiselläkin IT-osaamisella. Tyypillinen tapa rakennusautomaation suoralle internetyhteydelle on ollut kiinteä julkinen IP-osoite tai käyttäen jotakin dynaamista nimipalvelua. Tämän malliset ratkaisut internet yhteyden muodostamiseksi mahdollistavat ulkopuoliselle vaivattoman pääsyn järjestelmään. [36, s. 6.]

ST-kortistoon onkin heinäkuussa 2017 julkaistu uusi ohjeistus, 710.02 - Rakennusautomaation tietoturva, sekä 730.05 - rakennusautomaatiojärjestelmän tietoturva-asioiden tarkastuspöytäkirja. [27]

Vuonna 2017 julkaistu ST 710.02 suosittelee kytkemään rakennusautomaatiojärjestelmän vähintään rajoitetusti internetiin, lisäsuositukset ovat VPN-pohjainen yhteys, varmistettu verkkoratkaisu, turvalliset pilvipohjaiset valvomot, tai

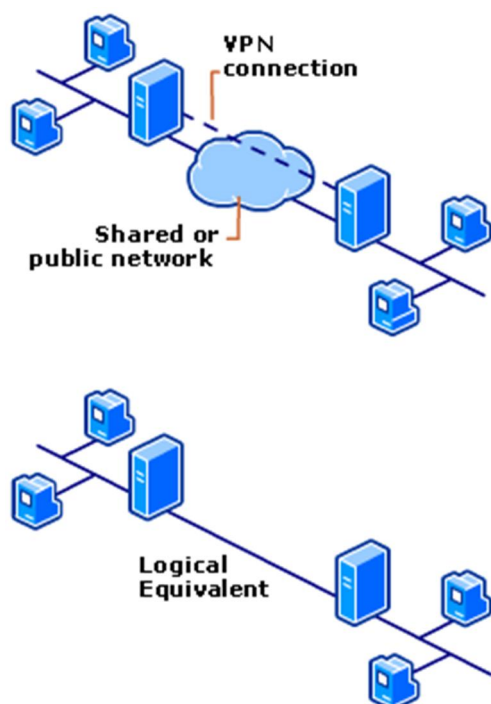
sellaisten tekniikoiden käyttäminen, jossa laite ei vastaanota tietoa internetistä. [36, s. 6.]

Liikenne voidaan määrittää vaihtoehtoisesti sallittujen IP-osoitteiden välille. Tämän toteuttamiseen markkinoilta voi löytää useita eri vaihtoehtoja, kuten esimerkiksi operaattoreiden tarjoamia ratkaisuja. Muun muassa toimiston yleinen verkko, vierasverkko ja automaatiojärjestelmän käyttämä verkko tulisi rakentaa erilleen toisistaan. [37.]

Rakennusautomaatiojärjestelmän osien, kuten alakeskusten, kommunikaatio on nykyään pääsääntöisesti toteutettu perinteisen väyläkaapelin sijaan IP-verkon välityksellä. Tämän vuoksi kaikkien yleiskaapelointijärjestelmän aktiivilaitteiden tietoturva tulee varmistaa. Laitteiden ja järjestelmien välisessä tiedonsiirrossa kannattaakin käyttää salattua liikennettä niissä tapauksissa, joissa se on mahdollista. [37.]

4.4.1 Yksityinen virtuaaliverkko

Yksi suurimmista rakennusautomaatiojärjestelmien tietoturvariskeistä on liittää se suoraan avoimeen internetiin kiinteällä IP-osoitteella. Järjestelmän etäohjaus tulisikin toteuttaa esimerkiksi kuvan 10 mukaisella VPN-pohjaisella yhteydellä, jolloin liikenne voidaan salata ja määritellä samalla kuka voi muodostaa yhteyden automaatiojärjestelmän käyttämään verkkoon. [37.]



Kuva 10. VPN toimintaperiaate [38].

VPN-yhteys toimii kahden pisteen välillä yksityisessä tai julkisessa verkossa. Tyypillisessä VPN-järjestelmässä "asiakas" luo yhteyden omasta pisteestään palvelimelle, johon etäyhteys halutaan muodostaa. VPN-palvelin vastaa kutsuun, tunnistaa asiakkaan ja alkaa tämän jälkeen välittämään dataa "asiakkaan" ja esimerkiksi yrityksen verkon välillä, jossa VPN-palvelin sijaitsee. [38.]

VPN-tunnelointi voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Tavallisemmassa vaihtoehdossa VPN-palvelin sijoitetaan fyysisen palomuurin taakse, jolloin järjestelmän ei tarvitse tarkastaa onko kyseinen etäyhteys sallittu. Toinen vaihtoehto on sijoittaa VPN-palvelin palomuurin eteen, jolloin palomuri tarkistaa myös VPN-yhteyttä pitkin saapuvan datan IP-osoitteen ja vertaa sitä palomuurille määritettyyn sallittujen IP-osoitteiden listaan. [38.]

Yhteyksiä on kahta eri tyyppiä, näistä tyypeistä toinen meille hieman tutumpi. Remote access -VPN sallii nimensä mukaisesti käyttäjän muodostavan etäyhteyden haluamaansa paikkaan, kuten työpaikalleen. Tässä yhteystyyppissä on point-to-point yhteys työntekijän ja yrityksen palvelimen välillä. Site-to-site-VPN on taas yritysten sisäisessä verkossa yleisemmin käytetty, sillä tätä VPN-tyyppiä käyttäessä voidaan

liikuttaa salattu tieto tunnelissa kenenkään muun pääsemättä tietoon käsiksi. Jälkimmäisessä tapauksessa molemmilla yrityksen palvelimilla tulee olla luotuna luotettava VPN-tunnelointi. [38.]

4.4.2 Pilvipalvelut

Pilvipalvelulla tarkoitetaan palvelua, johon on mahdollista päästä käsiksi lähes koska laitteen ollessa yhteydessä internetiin. Käytännössä pilvi tarkoittaa kuvan 11 mukaista verkostoa, joka muodostuu eri laitteista ja palvelimista. [39.]

Sana pilvi kuvaa palveluita melko osuvasti, sillä oman tiedon ja palvelun fyysinen sijainti voi pilven tapaan liikkua maailmalla missä tahansa. Palvelun ja tietojen sijainnin päättää yleensä palveluntarjoaja oman palvelumallinsa mukaisesti. Tässä on vaihtelua myös sen mukaan, onko pilvipalvelu tarkoitettu henkilökohtaiseen vai yrityskäyttöön. Käytännössä yksityishenkilöllä ei ole mahdollisuutta vaikuttaa pilvipalveluihin tallennettujen tietojensa fyysiseen sijaintiin tai edes tietää sitä. Sen sijaan joissakin pilvipalveluissa asiakasorganisaatioilla on mahdollisuus vaikuttaa tähän. [40.]

Pilvipalvelu voi sisältää erilaisia palveluita, ohjelmia sekä dataa. Pilvipalvelu on käsitteenä melko tuore, vaikka toimintamalli on ollut käytössä ja useamman vuoden ajan. Esimerkiksi sähköpostit on tallennettu palveluntarjoajan palvelimelle, joka voidaan avata tietokoneella tai puhelimella aina, kun laitteessa on yhteys internetiin. [41.]

Pilvipalvelun yksi hyvistä puolista on tietojen säilyvyys, muistitikun sijaan pilveä ei tarvitse kantaa mukana, eikä sitä ole myöskään kovin helppo hukata. Pilvipalveluihin kuuluu yleensä myös automaattiset varmuuskopioinnit, jolloin tiedot pysyvät tallessa, vaikka palveluntarjoajan palvelimille tulisi laiterikko. [41.]

Toinen hyvä puoli pilvipalveluille on tiedon helppo jakaminen, kun data on helposti saatavilla vain internet yhteyden päässä, voi tiedostoja jakaa esimerkiksi dropbox:ssa henkilöille, joiden tarvitsee päästä käsiksi tietoihin tai tiedostoihin. Jopa tiedostojen samanaikainen muokkaaminen useamman henkilön välillä onnistuu yleensä ongelmattomasti. [42.]

Kiinteistöautomaatiossa pilveä voisi hyödyntää esimerkiksi siten, että kiinteistön käyttäjillä olisi pääsy pilveen, josta he voisivat nähdä vapaana olevia tiloja. Tilaa varatessa kiinteistön automatiikka voisi sytyttää varattuun tilaan valot ja käynnistää tai tehostaa ilmanvaihtoa. Pilveä voisi hyödyntää myös huoltohenkilöstölle siten, että häiriötilanteessa huoltohenkilöstö saisi ilmoituksen siitä, minkälainen vikatilanne on päällä ja missä vikatilanne sijaitsee.



Kuva 11. Pilvipalvelut [43].

5 Tiedon hyödyntäminen

5.1 Ramboll Circle

Ramboll Circle on kiinteistön omistajille suunnattu web-pohjainen pilvialusta, joka yhdistää karttapohjalle kiinteistöjen perustiedot, tietomallit ja esimerkiksi dataa rakennetusta ympäristöstä [44]. Palvelussa kerätään kiinteistöjen tiedot omistajan käyttöön tarkoitettuun salkkuun, minkä tarkoituksena on pitää tallessa tiedot kiinteistön muutoksista [45].

Circlessä kiinteistön IFC-malli viedään pilveen, oikeiden karttojen päälle, jolloin kiinteistöt saadaan näkymään kartalla oikeassa koordinaatistossa kiinteistömassan hallinnan helpottamiseksi [45].

IFC-malli on kiinteistön tietomalli, joka voidaan näyttää Circlessä kolmeulotteisena. Mallista löytyy kaikki rakennukseen liittyvä tieto, kiinteistökokonaisuudesta yksittäiseen tilaan [45].

Ramboll Circle on palvelualusta, jossa yhdistyy kolme erilaista toiminnallisuutta: Elinkaaripalvelut, kiinteistöhaku ja -laskenta, sekä rakennetun ympäristön tiedot [45].

Palvelun tavoitteena on antaa kiinteistön omistajille paremmat mahdollisuudet kiinteistöjen hallintaan, ja järjestelmää suunnitellessa onkin huomioitu kiinteistöjen omistajien näkökulmia siitä, minkälaista dataa halutaan saataville ja mihin suuntaan. [44.]

5.1.1 Kiinteistöhaku ja -laskenta

Kyseinen Circlen ominaisuus vie palveluun tiedot kiinteistöjen sijainneista ja esimerkiksi ikkunoiden ja hissien lukumäärästä. Tämä ominaisuus siis toimii hyvänä työkaluna kiinteistön ylläpidolle, sekä ylläpidon kustannusten laskemisessa. Malleja voidaan muuttaa tarpeen mukaisiksi, jotta halutut tiedot voidaan näyttää selkeästi omissa tasoissaan. [45.]

5.1.2 Elinkaaripalvelut

Malliin viedystä elinkaaresta voidaan tarkastella kiinteistön käyttöönoton tilannetta. Malliin on mahdollista visualisoida jokaisen yksittäisen tilan käyttöönoton vaihetta, perustuen käyttöönoton sähköisiin tarkistuslistoihin. [45.]

Elinkaaripalvelu helpottaa myös tilojen vuokraamista. Kun malliin on viety vuokralaiset, voidaan helposti hahmottaa vapaita tiloja. Mallin tehtävänä on myös helpottaa vuokralaisen hahmotelmaa tulevalle vuokralaiselle sopivimmista tiloista. [45.]

Historiatietokantaan yhdistettynä, tätä ominaisuutta voisi olla mahdollista käyttää myös kiinteistön huoltokirjana [45].

5.1.3 Rakennettu ympäristö

Rakennetun ympäristön tietoihin voidaan viedä muun muassa kyseisen alueen liikennevirtoja, asukasmääriä ja vuokratasoja. Työkalu on tuotu Circleen strategisen päätöksenteon tueksi. Työkalusta voidaan esimerkiksi tarkastella sitä, kuinka liikennevirrat ovat vaikuttaneet toimitilojen vuokratasoihin tai käyttöasteisiin. [45]

5.1.4 Mahdollisuudet

Tulevaisuudessa Circleen voisi olla mahdollista viedä myös LVIA-laitteiston mallit, josta selviäisi, missä sijaitsee putket, kanavat ja toimilaitteet. [44.]

Tällaisella lisäyksellä olisi kiinteistön huoltohenkilöstön, sekä kiinteistön omistajan huomattavasti helpompaa olla tietoinen kiinteistön sen hetkellisestä teknisestä tilasta. Huonetilojen lämpötilat ja sisäilman laatu ovat jo tällä hetkellä vietyinä palvelun IFC-malleihin. Tätä ominaisuutta voitaisiin hyödyntää muun muassa siten, että huonelämpötilan poiketessa liikaa asetusarvosta voitaisiin malliin luoda hälytys kyseisen huonetilan kohdalle, jolloin kiinteistöä ylläpitävän organisaation olisi helpompi ja nopeampi havaita syntynyt vikatilanne, ennen kiinteistön käyttäjien palautetta huonosta sisäilmasta. [44.]

Yksi suurista tulevaisuuden mahdollisuuksista oli Big Datan automaattinen analysointi, joka voisi vertailla useampia Circleen liitettyjä rakennuksia, sekä niiden taloteknisiä järjestelmiä. Tällaisen tiedon automaattisella tulkinnalla voitaisiin saada nopeasti vertausarvoja esimerkiksi identtisistä ilmanvaihtokoneista, joista toinen jostain syystä jäähdyttää rakennusta liikaa.

Palvelun hyödyntäminen kiinteistön ylläpidossa ei ole kehitystyön tässä vaiheessa ajankohtaista. Kiinteistön ylläpitoon on kuitenkin mahdollista luoda rakennusautomaation rajapintojen kautta liityntä, jolla saataisiin kiinteistöä ylläpitävälle palveluntarjoajalle tietoa valvomon kaltaisessa ympäristössä, joka olisi entistä graafisempi. IoT-laitteiden

lisääntyessä olisi mahdollisuus esimerkiksi näyttää grafiikalla sellaisen laitteen sijainti, jonka paristo on käymässä vähiin. [44.]

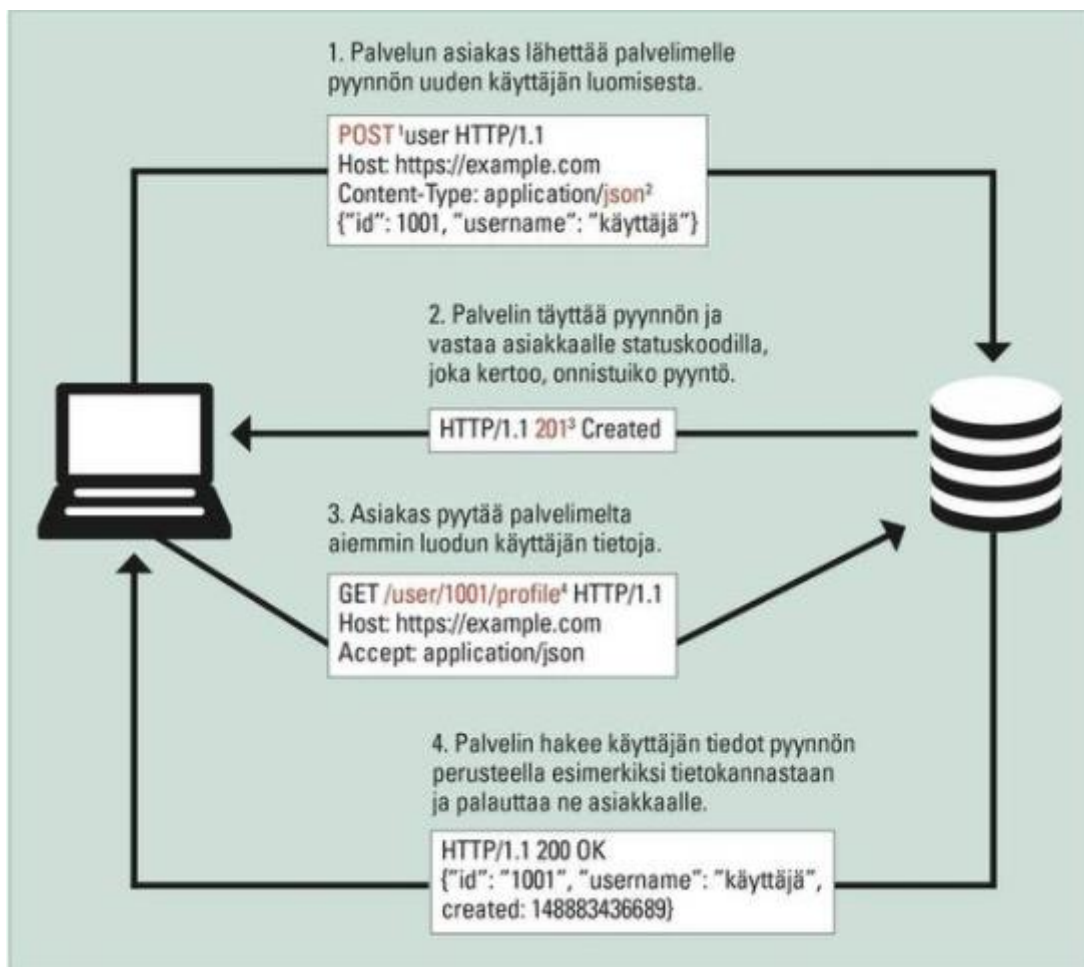
Rakennetun ympäristön dataa voisi olla mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa muun muassa ilmanvaihtokoneiden huoltotarpeiden laskemisessa, kuten suodattimien vaihtotarpeesta laskemalla ulkoilman päästötasoista vaikutus elinkaareen. [44.]

Tietoa energiankulutuksesta, kuten käytetyistä energiamuodoista voisi olla tulevaisuudessa mahdollista yhdistää kiinteistön omistajan salkkuun, josta voisi pitkällä tarkastelulla havaita kuinka kiinteistöä käytetään ja missä tilanteissa energiaa kulutetaan eniten. [44.]

5.1.5 Liityntä

Myös Circle on pilvipohjainen palvelu, joka vaatii useita tietokantoja kaiken nykyisen ja tulevan toiminnallisuuden toteuttamiseen. Tietokantojen liityntään pitäisi kehittää myös rakennusautomaation kannalta oma, tehokas järjestelmä, jolla tietoja saataisiin tallennettua historiakantaan reaaliajassa mahdollisimman tarkoituksenmukaisten olosuhteiden saavuttamiseksi, asiantuntijoiden tulkitsemana. [44.]

Liityntämallina palveluun on tällä hetkellä käytössä http-pohjainen Rest-arkkitehtuurimalli. Tämä arkkitehtuurimalli, jonka toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12, määrittelee, millaisilla operaatioilla palvelimilta pyydetään, lisätään tai käsitellään dataa. Arkkitehtuurimalli ei kuitenkaan määrittele mitään tietomallin standardia. [46.]



Kuva 12. Rest-arkkitehtuurin toimintaperiaate [46].

Yksi Restin tärkeä ominaisuus on tietojen siirtäminen pyynnön lähettävän laitteen välimuistiin, jolloin lähettämä palvelin voi levätä silloin, kun uutta pyyntöä ei tule. Kaikki pyyntöihin liittyvä tieto siirretään jokaisella pyynnöllä, ja sovelluksen tilan säilyttäminen jää pyynnön tehneen laitteen vastuulle. [46.]

5.2 Kerätyn tiedon analysointi

Tavallisesti kerättyä tietoa täytyy siivota siten, että virheellinen data poistetaan ja kerätty data muunnetaan yhdenmukaiseksi. Muuttujat eri tietokannoissa ja kiinteistöautomaatiikan laitteissa saattavat olla eri muodossa, jolloin dataa analysoidessa tietokone ei ymmärrä vertailussa olevan samanlaista dataa. [47.]

Tehokkaalla tiedon analysoinnilla voidaan kehittää jatkuvasti rakennusten olosuhteita, ja sitä kautta rakennuksen käyttäjien viihtyvyyttä.

Rakennuksesta kerättyä tietoa voidaan analysoida erilaisten menetelmien avulla, riippuen kerätyn tiedon luonteesta. Kerätty tieto voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan: määrälliseen ja laadulliseen tietoon. [48.]

Määrällistä tietoa voidaan tulkita perinteisellä tilastollisella analyysillä, voidaan tarkastella esimerkiksi rakennuksen kävijämäärää suhteessa lämpötilaan.

Laadullista tietoa voidaan tulkita muun muassa sisältöanalyysillä tähän kategoriaan lukeutuu mukaan esimerkiksi käyttäjäpalaute jonkin tilan viihtyvyydestä [48].

Rakennusten kohdalla määrällistä tietoa voitaisiin taltioida jokaiselta anturilta ja toimilaitteelta, esimerkiksi tavallisesta ilmanvaihtokoneesta voitaisiin piirtää graafia, josta näkyisi koneelta lähtevän ilman lämpötila. Kun lämpötila alkaa radikaalisti vaihtelevaan, voidaan tietoja yhdistää ja tehdä tarkastelua, mistä lämpötilan heittely johtuu.

Dataa kannattaa usein tarkastella visuaalisesti hajontakaavioin, taikka histogrammien avulla. Vertaillessa useampaa samanlaista laitetta histogrammeista voidaan havaita tehokkaasti jollakin laitteella oleva häiriötilanne [49].

Kerättyä tietoa voidaan hyödyntää jatkuvasti kehittyvässä rakennusautomaation suunnitteluprosessissa entistä energiatehokkaampien järjestelmien luomiseen, joissa on huomioitu entistä enemmän tarpeenmukaiset valaistus- ja ilmanvaihto-ohjaukset.

6 Taloteknisten järjestelmien suunnittelun kehitystarpeet

Rakennusautomaatiojärjestelmien suunnitelmat toimivat lähtökohtana sille, kuinka rakennusautomaatiojärjestelmä tulee toimimaan eri tilanteissa ja mitä järjestelmä tulee ohjaamaan. Suunnitelmat ovat avainasemassa jo projektin tarjouspyyntövaiheessa, jolloin rakennusautomaatiotoimittajilta pyydetään suunnitelmiin perustuen kiinteähintaisia tarjouksia rakennusautomaation toteutuksesta. Tietoturva koskevat

kysymykset tulisikin käsitellä tämän vuoksi tarkkaan jo järjestelmän suunnitteluvaiheessa. [36, s. 5]

Varsinaisten taloteknisten järjestelmien suunnittelua tulisi kehittyä sellaiseen suuntaan, jossa jatkuvasti kasvavaa tietoa kerätään turvallisesti, jalostetaan ja tuotetaan kaikille kiinteistöihin liittyville osapuolille niiden tarvitsemissa muodoissa.

Tiedon keräämistä ja sen hyödyntämistä on tarkoitus kehittää jatkuvasti Ramboll Circle mielessä, jotta saataisiin automatisoitua myös kerätyn tiedon analysointia parhaiden mahdollisten olosuhteiden saavuttamiseksi kiinteistöissä. Kerättyä tietoa voidaan hyödyntää suunnittelijan päässä muun muassa siten, että hyvin toimivia kokonaisuuksia käytetään ja kehitetään jatkossakin, kun taas huonommin toimivat laitteistomallit voidaan jättää suunnitelmista pois ja korvata niitä taas toimivilla malleilla.

Jotta tietoa saataisiin siirrettyä tulevaisuudessa pilvipalveluihin, pitäisi suunnitellessa ottaa huomioon paremmin pilvipalveluiden tarpeet avoimille ohjelmistorajapinnoille, jotka mahdollistavat tiedonsiirron historiatietokantoihin ja pilviliityntöihin. Kyseisiä ohjelmistorajapintoja ovat muun muassa MQTT ja OPC UA.

Kaiken muun automatiikan kehittyessä pitkin harppauksin rakennusautomaatio laahustaa perässä. Esimerkiksi jos alettaisiin seuraamaan tarkemmin jonkin ilmanvaihtokoneen tulolämpötilaa, voitaisiin havaita viallinen anturi siitä, että lämpötila ei näytä muuttuvan ollenkaan, tai lämpötila näyttää valvomon grafiikalla erittäin korkealta tai alhaiselta.

Nykypäivänä viallinen anturi löytyy kiinteistön huoltohenkilöstön puolelta, joka saattaa huomata jumiutuneen lämpötilan valvomografiikalta.

Rakennusautomaation tietoturvaan liittyvät asiat ovat kuitenkin alkaneet saamaan huomattavasti lisähuomiota kyberturvallisuuden ja bottiverkkojen noustessa mediassa pinnalle aina uutisotsikoihin asti. Tietoturva onkin tällä hetkellä kehittymässä kovaa vauhtia, jotta kaikille saataisiin turvallista automatiikkaa.

Lähteet

- 1 Kiinteistön ylläpito ja korjaaminen. 2013. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen>>. Luettu 3.1.2018
- 2 Suunnitelmallinen kiinteistönpito. 2018. Verkkoaineisto. Kiinteistöliitto ry. <<http://www.taloyhtio.net/kiinteistonpito>>. Luettu 8.1.2018
- 3 Olosuhdehallinta. 2018 Verkkoaineisto. Are Oy. < <https://www.are.fi>>. Luettu 5.2.2018
- 4 Puhtaampaa sisäilmaa. 2018. Verkkoaineisto. IIS Oy. <<http://www.fi.issworld.com>>. Luettu 3.1.2018
- 5 Kärki Satu & Karjalainen Sami. 1999. Ilmastointijärjestelmän vikadiagnostiikka, VTT tiedotteita T1967. Espoo. VTT Oy
- 6 Jylli, Eero. 2017. Lähes nollaenergiarakentaminen ja rakennusautomaatio. Espoo. Insinööriyö
- 7 Piikkilä, Veijo. 2012. Rakennusautomaatiojärjestelmät, ST-käsikirja 17. Espoo. Sähkötieto Ry
- 8 Liedes, Riikka. 2017 Rakennusten energiatehokkuus, ST-ohjeisto 15. Espoo. Sähkötieto Ry
- 9 Lämmön talteenotto. 2018. Verkkoaineisto. Lämmin Koti Oy. <<http://www.lamminkoti.fi>>. Luettu 16.1.2018
- 10 Sahlstén, Toivo. 2017. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Käyttö, ylläpito ja huolto, ST kortisto 98.61. Espoo. Sähkötieto Oy
- 11 Pietiläinen Jorma, Kauppinen Timo, Kovanen Keijo. 2007. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta, VTT tiedotteita 2413. Espoo. VTT Oy
- 12 Tuliniemi, Erja. 2010. Kunnossapitojärjestelmän suunnittelu ja käyttöönotto. Kotka. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
- 13 Olli, Jari 2007. Kunnossapito ja sen tietojärjestelmä. Metropolia Ammattikorkeakoulu
- 14 Sarajärvi, Simo. 2010. PowerMaint -kunnossapitojärjestelmän päivitys ja vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysin laadinta. Kemi. Kemi-tornion ammattikorkeakoulu

- 15 Lieder, Riikka. 2017. Kiinteistöjen valvomojärjestelmät, ST-käsikirja 22. Espoo. Sähkötieto Oy
- 16 Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta. 2017. Ennakointi estää koulujen sisäilmaongelmia. Verkkoaineisto <<http://tietokayttoon.fi>>. Luettu 16.1.2018
- 17 Piikkilä, Veijo. 2017. Langattomien tiedonsiirtoverkkojen hyödyntäminen kiinteistön hallintajärjestelmässä, ST kortisto 701.57. Espoo. Sähkötieto Oy
- 18 Multanen, Jussi. 2008. Langattomuus rakennusautomaatiossa. Tampere. Tampereen ammattikorkeakoulu
- 19 Norlén, Niclas. 2017. Wireless IoT standards that will make your products future-proof. Göteborg. Lumenradio AB
- 20 Mira – our IoT platform. 2018. Verkkoaineisto. Lumenradio AB. <<https://lumenradio.com>>. Luettu 8.2.2018
- 21 Karlsson, Michael. 2017. Becoming future-proof with wireless cognitive coexistence. Göteborg. Lumenradio AB
- 22 Kouvolan seudun ammattiopisto. 2018. Topologiat. Verkkoaineisto <<http://www.koudata.fi>>. Luettu 23.1.2018
- 23 Kivilähde, Markku. Pro dual Oy. 31.1.2018 keskustelu. Espoo.
- 24 Luvasta vapautetut radiolaitteet. 2018. Verkkoaineisto. Viestintävirasto <<https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet>>
- 25 2017. All what you need to know about regulation on RF 868MHz for LPWan. Verkkoaineisto < <https://www.disk91.com>>. Luettu 21.1.2018
- 26 Järvinen, Joonas. 2017. IoT-verkkoteknologioiden vertailu. Helsinki. Insinööritö
- 27 Tuovinen, Tanda. 2013. 2.4GHz:n taajuusalueen ongelmat. Verkkodokumentti <<https://wiki.helsinki.fi>>. Luettu 3.2.2018
- 28 Bluetooth. 2018. Verkkodokumentti. Wikipedia Foundation. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>>. Luettu 5.2.2018
- 29 What's the difference between 2.4 and 5-GHz Wi-Fi. 2018. Verkkodokumentti. <<https://www.howtogeek.com>>. Luettu 3.2.2018

- 30 Kärkkäinen, Kari. 2015. Monitie-etenemisen aiheuttama häiriö. Oulu. Oulun yliopisto
- 31 The future of buildings is empathic. 2018. Verkkoaineisto. Tieto Oyj. <<http://empathicbuilding.com>>. Luettu 9.2.2018
- 32 Talotekniset järjestelmät. 2013. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen>>. Luettu 12.2.2018
- 33 Maja, Mikko. Nuukasolutions Oy. 12.2.2018 keskustelu. Espoo.
- 34 Arvinen, Mikko. 2016. Rakennusautomaation tietoturva haltuun. Verkkoaineisto <<http://www.sahkoala.fi>>. Luettu 16.1.2018
- 35 Liedes, Riikka. 2016. Rakennusala on vasta heräämässä tietoturvakysymyksiin. Verkkoaineisto <<http://www.sahkoala.fi>>. Luettu 16.1.2018
- 36 Silver, Timo. 2017. Rakennusautomaation tietoturva, ST kortisto 710.02. Espoo. Sähkötieto Oy
- 37 Arvinen, Mikko. 2017. Rakennusautomaation tietoturvaohjeet julkaistiin. Verkkoaineisto <<http://www.sahkoala.fi>>. Luettu 16.1.2018
- 38 Microsoft. VPN and firewalls. Verkkoaineisto. Microsoft Corporation. <<https://docs.microsoft.com>>. Luettu 20.1.2018
- 39 Kankare, Ville. Elisa Oyj. 2017. Mikä on pilvipalvelu. Verkkoaineisto <<https://yksityisille.hub.elisa.fi/mika-on-pilvipalvelu>>. Luettu 4.1.2018
- 40 2013. Pilvipalvelut. Verkkoaineisto <<http://www.edu.fi>>. Luettu 4.1.2018
- 41 Ranger, Steve. 2018. What is cloud computing? Everything you need to know about the cloud, explained. Verkkoaineisto <<http://www.zdnet.com>>. Luettu 5.1.2018
- 42 Dropbox. 2018. Sharing files and folders. Verkkoaineisto <<https://www.dropbox.com>>. Luettu 5.1.2018
- 43 Inspira. 2017. 11 benefits of cloud computing to grow your business. Verkkoaineisto <<http://inspira.co.in/blog/cloud-computing-for-business>>. Luettu 18.1.2018
- 44 Hakola, Vesa. Ramboll finland Oy. 14.2.2018 keskustelu. Espoo.

- 45 Ramboll circle – älykästä kiinteistöjen elinkaaren hallintaa. 2017. Verkkoaineisto. Ramboll Finland Oy <<http://blog.ramboll.com/kiinteiston-elinkaari>> Luettu 4.2.2018
- 46 Rest on nettipalveluiden yhteinen kieli. 2017. Verkkoaineisto. Talentum Oyj. <<https://www.tivi.fi>> Luettu 14.2.2018
- 47 Datan analysointi. 2018. Verkkoaineisto. <<https://blogs.uta.fi>>. Luettu 14.1.2018
- 48 Tiedon analysointi. 2018. Verkkoaineisto <<http://www.tut.fi/verne>>. Luettu 14.1.2018
- 49 Data-analyysi. 2018. Verkkoaineisto. Wikipedia Foundation. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Data-analyysi>>. Luettu 14.1.2018